

RELEVANCIA MUNDIAL DE LA MINERÍA DE ESTAÑO DE LLALLAGUA, BOLIVIA

PURA ALFONSO¹, RUBÉN ZAMBRANA², VALENTÍN LOREDO²

1. Dept. d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Universitat Politècnica de Catalunya,
Av. De les Bases de Manresa 61-73 08242 Manresa. maria.pura.alfonso@upc.edu

2. Área de Tecnología, Universidad Nacional "Siglo XX", Llallagua, Bolivia

Resumen: En Llallagua, departamento de Potosí (Bolivia), se encuentra la mina Siglo XX, que llegó a ser la mina de estaño más grande del mundo. El depósito fue descubierto en 1564 por Juan del Valle aunque se empezó a explotar a gran escala a principios del siglo XX con la explotación de menas de estaño con una ley de un 12 a 15 % de Sn. Llallagua tiene gran importancia desde un punto de vista histórico, ya que aquí se organizó la primera industria moderna de Bolivia y en ella nació el sindicalismo minero. La mina siglo XX fue la base de la gran fortuna de Simón I. Patiño, el "rey del estaño", al que perteneció hasta el 1952, en que pasó a ser propiedad del estado boliviano. Actualmente las actividades mineras las llevan a cabo cooperativas. Alrededor del 38% de la población se dedica exclusivamente a la extracción minera. El depósito de Lallagua es un pórfido en el que la mineralización de estaño se encuentra diseminada y en un conjunto de vetas y vetillas anastomosadas. Una parte importante de las reservas corresponden a las colas y desmontes que se encuentran alrededor de las poblaciones de Llallagua y Catavi, donde permanecen más de 20,7 millones de toneladas con un promedio de 0.30% de Sn. En esta mina se encuentran una gran diversidad de minerales entre los minerales destacan las sulfosales y los fosfatos.

Palabras clave; Estaño, Minería, Bolivia, Llallagua

Abstract: The Siglo XX mine, which became the largest tin mine in the world is located in Llallagua, department of Potosí (Bolivia). The deposit was discovered in 1564 by Juan del Valle although it began to be exploited on a large scale at the beginning of the 20th century with the exploitation of tin ores of 12 and 15% of Sn. Llallagua has great importance from a historical point of view, since here the first modern industry of Bolivia was organized and mining unionism was born here. The 20th century mine was the basis of the great fortune of Simón I. Patiño, the "king of tin", to which he belonged until 1952, when it became the property of the Bolivian state. Currently, mining activities are carried out by cooperatives. About 38% of the population is dedicated exclusively to mining. The deposit of Lallagua is of porphyry type and the mineralization of tin occurs as disseminated and as hosted in veins and veinlets. An important part of the reserves correspond to the dams and tailings located close the populations of Llallagua and Catavi, where more than 20.7 million tons remain with an average of 0.30% of Sn. In this mine there is a great diversity of minerals among minerals, mainly sulfosalts and phosphates.

Key words; Tin, Mining, Bolivia, Llallagua

Introducció

Llallagua es una de las zonas con más tradición minera de Sudamérica. Se encuentra a unos 3850 m de altura, en el departamento de Potosí (Bolivia), aunque se encuentra cerca del departamento de Oruro y es con su capital, Oruro con la que mantiene más comunicación, ya que se halla a tan sólo 91 Km. En esta zona se encuentra la emblemática mina Siglo XX, o también llamada mina La Salvadora, que tiempos atrás fue la mina de estaño más grande del mundo y cuenta con una de las concentraciones de estaño más grandes descubiertas con una producción de estaño que supera las 500,000 toneladas hasta la fecha y un recurso de baja ley de aproximadamente 1,000,000 toneladas de estaño ((Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964). El depósito fue descubierto en 1564 por el español Juan del Valle, pero en aquella época del estaño tenía poco valor. El nombre Siglo XX, procede de que la mayoría de los trabajos mineros a gran escala en esta zona comenzaron a principios del siglo, con la explotación de menas de estaño de alta ley, entre un 12 y 15 % de Sn.

Además, La historia de Llallagua es importante desde un punto de vista histórico, ya que aquí se organizó la primera industria moderna de Bolivia y en ella nació el sindicalismo minero. La mina siglo XX fue la base de la gran fortuna de Simón I. Patiño, el “rey del estaño”, al que perteneció hasta el 1952. En este año se decretó la nacionalización de las minas y pasaban a ser del estado boliviano. Para administrar las minas se creó la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). En esta época hubo una bajada considerable de los precios del estaño y además la ley de la mena fue bajando hasta alcanzar valores de 0.36 % Sn en 1986. Esto restringió los beneficios de la COMIBOL tuvo que operar con escaso capital, maquinaria obsoleta y altos costos de producción.

Actualmente las actividades mineras de Llallagua representan un aporte importante a la economía boliviana mediante la producción estannífera de las cooperativas mineras, las cuales operan desde 1986. Alrededor del 38% de la población se dedica exclusivamente a la extracción minera.

Bolivia ocupa en cuarto lugar en cuanto a producción de estaño, sólo superada por China, Birmania e Indonesia. Los últimos años ha producida alrededor de 25.000 t/año (USGS, 2018). En 2015 se calculó que Bolivia cuenta con un 8% de las reservas mundiales de Sn (ITRI, 2016).

La mineralización de Llallagua está principalmente confinada dentro de las reservas de la Salvadora; pórfido magmático superficial y que se explota a través de la mina siglo XX. Además de la mina Siglo XX se extrae una gran cantidad de mineral de los desmontes que se encuentran alrededor de las poblaciones de Llallagua y Catavi y han sido acumuladas por la actividad en el pasado, los cuales forman ya un elemento del paisaje de las poblaciones de Llallagua y Catavi (Figura 1). Las colas generadas se depositaron en un gran embalse elevado que cubre un área de aproximadamente 100 ha. Se estima que el embalse de colas contiene todavía 20,7 millones de toneladas con un promedio de 0.3% de Sn (Romero et al., 2014), por lo que actualmente son reprocesados por la Cooperativa Catavi Siglo XX Ltda, con una recuperación de aproximadamente 48% (Figura 1,2). Los desechos finales derivados de esta actividad se descargan como pulpa en el río Catavi. Este río es un afluente del río Andavilque que desemboca en el río Bravo, siendo parte de la cuenca del río Amazonas.

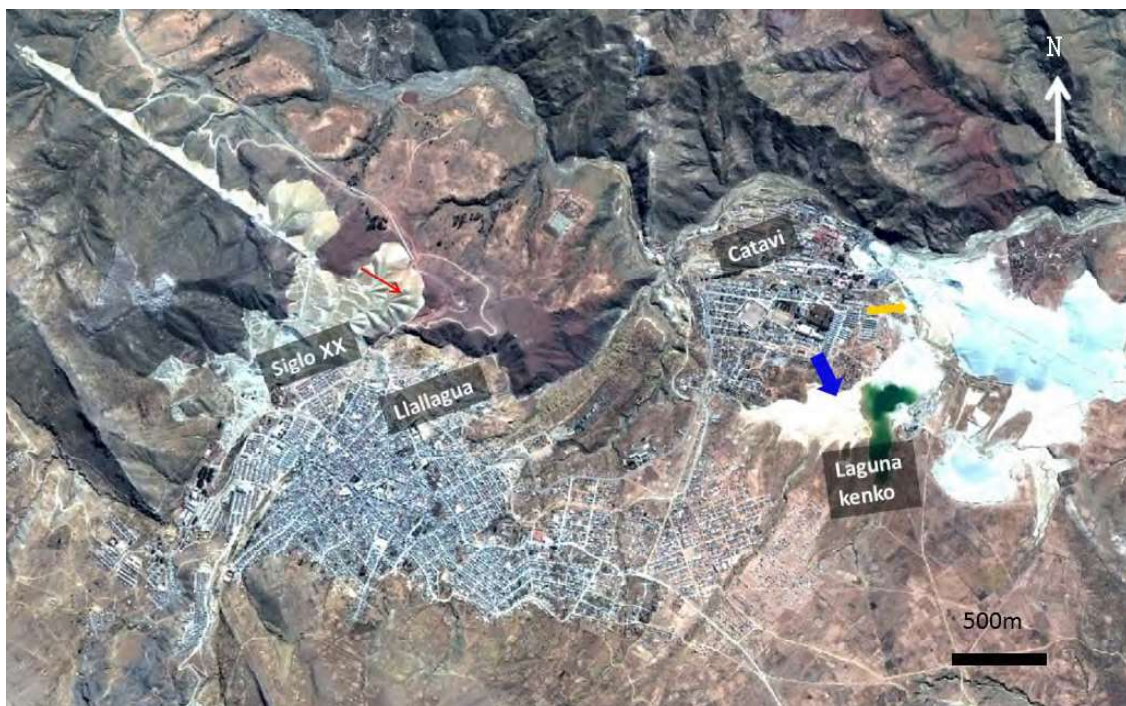


Figura 1. Localización de las poblaciones de Llallagua y Catavi así como de la gran cantidad de residuos dejados por la actividad minera y que representan todavía importantes reservas de estaño.



Figura 2. A la izquierda imagen de los desmontes y colas vistas desde Llallagua; derecha, laguna Kenko con las colas procedentes de la planta de procesamiento de Catavi.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO DE LLALLAGUA

La mina siglo XX explota un depósito porfídico de estaño ubicado en la parte centro-sur del cinturón de estaño boliviano asociado a la subducción, que se extiende a lo largo de unos 1000 km desde el sur de Perú a hasta el norte de Argentina (Figura 3). El cinturón de estaño está relacionado con el magmatismo orogénico andino. El stock de La Salvadora se encuentra profundamente alterado por los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización. Se trata de un cuerpo de edad terciaria encajado en rocas

metasedimentarias del Silúrico y Ordovícico de la Formación Cancañiri. Su composición va de dacita a cuarzo-latita (Sillitoe, 1975).

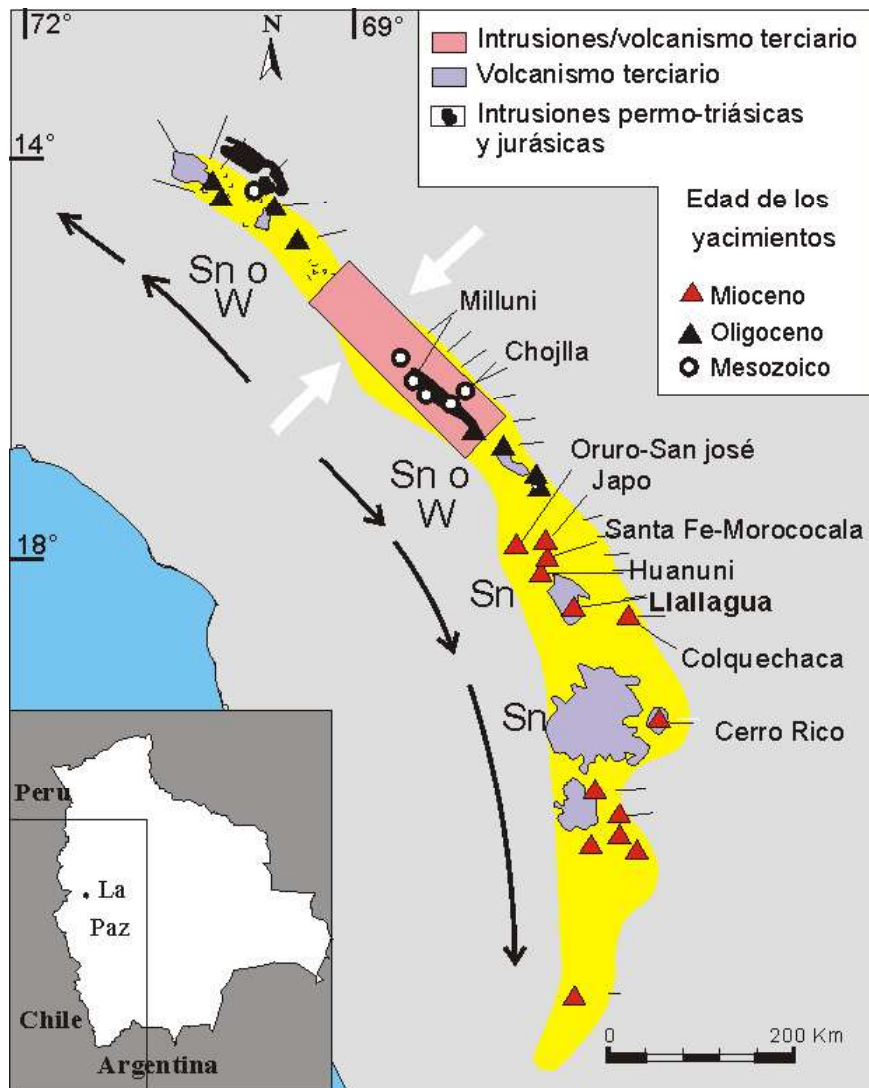


Figura 3. Localización de la Faja Estannífera Boliviana y sus depósitos principales (modificado de Mlynarczyk y Williams-Jones, 2005).

La mineralización de estaño se encuentra diseminada en el pórfido y en un conjunto de vetas y vetillas anastomosadas. A pesar de numerosos estudios, todavía hay un debate sobre la formación de la mineralización del depósito. Debido a la alteración metasomática generalizada, el conocimiento de la mineralogía y la clasificación de las rocas es limitado. La alteración en el stock de Salvador es principalmente sericitización y la turmalinización (Sillitoe et al. 1975).

El stock de La salvadora se encuentra encajado en rocas silúricas y devónicas con un metamorfismo de bajo grado, principalmente grauvacas, areniscas, pizarras y algo de conglomerados. El pórfido subvolcánico es cortado por dos diques que cruzan la litología del stock de La salvadora y alcanzan solo el grado sericítico al propilítico (Kempe et al. 2008). La parte más distal de estos diques se extiende hacia las rocas

sedimentarias que rodean el stock de Salvadora y exhiben la menor alteración. Su textura porfídica incluye cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y biotita, además de fases accesorias como fluorapatito y circón (Kempe et al. 2008).

La mineralización del estaño se encuentra tanto diseminada dentro del pórfido alterado como en los conjuntos de vetas. Es de origen hidrotermal con la primera etapa de deposición de vetas mineralizadas con casiterita y brechas con cuarzo, casiterita, turmalina, bismutina, wolframita y fluorapatito con monacita y xenotima menor y otros minerales.

MINERALES DE LLALLAGUA

En esta mina se encuentran una gran diversidad de minerales; alrededor de 100 especies. Entre los minerales destacan las sulfosales y los fosfatos. La monacita localmente puede ser muy abundante, asociada con la mineralización de casiterita. También aquí han sido descubiertos algunos nuevos minerales, siendo la localidad tipo de varios de ellos (Tabla 1), como la vauxita, paravauxita, metavauxita, sigloita y jeanbandyita. El fluorapatito ígneo primario y la monacita fueron reconocidos por primera vez en éste pórfido alterado.

Minerales procedentes de la mina Siglo XX se encuentran en los museos más importantes del mundo, como en el Smithsonian, donde se encuentran casiteritas con cristales maclados perfectos, cuarzo con la macla del Japón, monacita rosada y otros.

Llallagua se caracteriza por la abundancia de fosfatos, se encuentra fluorapatito y xenotima (Hyrsl y Petrov 2006) (Tabla 2). Aquí se hallan los más vistosos especímenes de fluorapatito de diferentes hábitos y colores (Rakovan, 2003). Algunos fosfatos han sido descubiertos en Llallagua; este es el caso de la Ferrovauxita $\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, que sería es un equivalente oxidado de la vauxita y se encuentra juntamente con la sigloita y la crandallita (Raade et al., 2016). Estos fosfatos que resulta de gran interés por diversos investigadores para rastrear la evolución de los procesos magmáticos e hidrotermales debido a la existencia en estos minerales de una zonificación durante el crecimiento y a su baja difusión elementales a temperaturas elevadas (Batkowski et al., 2017).

Tabla 1. Minerales relativamente abundantes en Llallagua con localidad tipo en otras ubicaciones.

Mineral	Fórmula	Referencias
Jeanbandyita	$\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+} \text{Sn}^{4+} \text{OH})_6$	Betterton et al. (1998)
Vauxita	$\text{Fe}^{2+} \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Ventruiti et al. (2016)
Metavauxita	$\text{Fe}^{2+} \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Baur y Rao (1967)
Paravauxita	$\text{Fe}^{2+} \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Baur (1969)
Ferrivaixita	$\text{Fe}^{3+} \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Raade et al. (2016)
Sigloita	$\text{Fe}^{2+} \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Hurlbut y Honea (1962)

La casiterita, aunque es común en muchas localidades en el caso de la procedente de la mina siglo XX a menudo presenta un maclado complejo que le da un especial interés. A escala microscópica aparecen asociaciones minerales de gran interés como la de cuarzo rosa con turmalina monacita y casiterita; también greenockita roja (CdS) con maclado complejo junto con wavelita; childrenita con vauxita, paravauxita y wavelita; wavelita con fluorapatito; y bauxita con metavauxita (Cook y Pohwat, 2003).

Tabla 2. Minerales importantes en Llallagua con localidad tipo en otras ubicaciones.

Mineral	Fórmula
Casiterita	SnO_2
Vivianita	$\text{Fe}^{2+}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Monacita	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$
Apatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$
Xenotima	$(\text{Y}, \text{Yb})\text{PO}_4$
Crandallita	$\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$
Wavelita	$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

HISTORIA DE LA EXPLOTACIÓN EN LLALLAGUA

El término Llallagua proviene del nombre que se daba a un espíritu que traía abundancia en las cosechas de la patata. En los tiempos del Imperio Incaico se denominó Llallagua a esta ciudad, debido a que se encuentra entre dos cimas de morfología similar a una patata (Querejazú, 1978).

La mineralización fue descubierta en 1557 por el capitán de las huestes de Ñuflo de Chávez, que fue llamado Juan del Valle. Él buscaba plata, en cambio encontró el estaño, que en aquella época tenía poco valor. No fue hasta inicios del siglo XX cuando se volvió a retomar el interés. En estos momentos trabajaban aquí tres compañías, entre las que se encontraba la empresa minera Uncía creada en 1883 por el irlandés John Minchin, que construyó el ingenio Victoria y la empresa La Salvadora, propiedad de Simón Patiño (Oporto Ordóñez, 2017). Patiño era propietario de la empresa La Salvadora, la cual a duras penas conseguía salir adelante, hasta que tras varios años de búsqueda, consiguió hallar un filón con una ley de estaño jamás vista hasta el momento. Comenzó la intensa explotación de la mineralización y la concentración de la mena de estaño, en una planta de procesamiento situada en Catavi que contaba con las instalaciones más avanzadas y modernas de la época. Esta planta todavía se utiliza en la actualidad, no muy cambiada respecto a la original (Figura 4).

Hasta 1907 Llallagua estaba formada por unas pocas viviendas construidas por la Compañía estannífera Llallagua para sus trabajadores. A partir de 1907 Llallagua ha progresado mucho gracias a la industria minera de “La salvadora”. En 1910 Minchin, vendió su empresa a Simón I. Patiño. Quedaron entonces dos únicas empresas en la

región, La Salvadora y Llallagua, ésta última era una empresa chilena que en 1924 acabó también vendiendo sus propiedades a Patiño. En este año Patiño funda en Delaware EE.UU la empresa Mines and Enterprises Consolidated, Inc. La cual progresa arrolladoramente. Así en 1929 la producción de estaño alcanzó un máximo histórico de más de 21.000 t métricas, únicamente sobrepasado en los últimos años.

Como consecuencia de este progreso se levantó el barrio de Miraflores, en Uncia, donde Patiño construyó su primer palacio, un edificio esplendoroso, ubicado frente a la Salvadora de modo que desde los ventanales de la torre principal, ubicada en el piso superior, podía ver la actividad que se estaba desarrollando en los socavones Antenor y Luzmila (Figura 5a). En Catavi se instalaron numerosos servicios para los mineros como el hospital, teatro, campos deportivos, baños turcos con aguas termales, casas de lujo para los ejecutivos y asesores de la compañía minera.

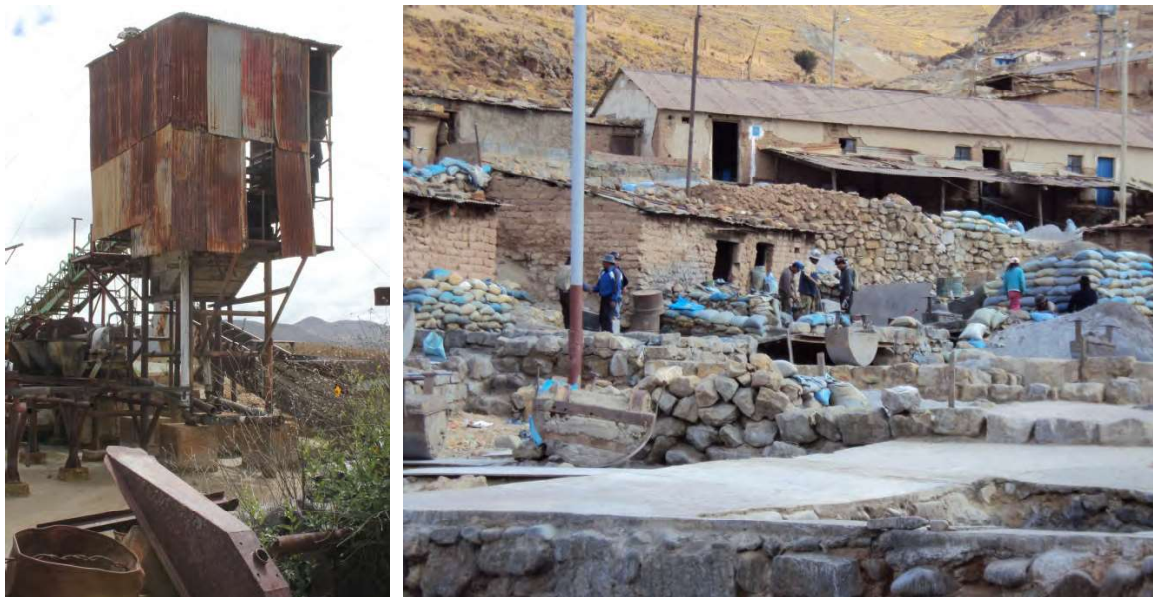


Figura 4. Instalaciones de la planta de procesamiento de Catavi.

En la primera fase el mineral fue transportado en llamas, luego se instalaron los andariveles y un ramal del ferrocarril para el transporte del material desde el ingenio hacia el exterior. La empresa de Patiño, tenía 6.000 trabajadores en interior mina en las secciones: Animas, Salvadora, Lagunas, Bloc Kavin y Siglo XX; en Catavi, funcionaba el ingenio, maestranza, contabilidad, hospital y otros servicios.

En 1941 los mineros de Llallagua-Catavi se alzaron por reivindicaciones salariales. En 1942 El gobierno de Bolivia había colocado bajo control militar a todas las minas, con el argumento de garantizar el suministro de materias primas a los aliados durante la Segunda guerra mundial. Los mineros se alzaron a la lucha y como consecuencia hubo

un elevado número de muertos principalmente provocados por las tropas del ejército que masacraron también mujeres y niños de la población.

Patiño falleció en 1947 a la edad de 86 años en Buenos Aires, Argentina. Sus restos y los de su esposa fueron repatriados y reposan en una lujosa mansión mausoleo de Pairumani, en Cochabamba.

En 1952 el presidente de Bolivia firmó en Catavi el decreto de nacionalización de las minas y con ella la eliminación de la empresa de Patiño. Todos los bienes de las grandes empresas mineras pasaban al estado boliviano. Para administrar las minas se creó la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). Sin embargo, en el momento de la nacionalización la producción no se hallaba en su mejor momento y había bajado considerablemente, los precios se hallaban en declive. La COMIBOL tuvo que operar con escaso capital, maquinaria obsoleta y altos costos de producción, teniendo, además, que pagar los beneficios sociales a los antiguos trabajadores de las empresas nacionalizadas. Por primera vez en la historia de la república alrededor del 80% de la minería se hallaba en manos estatales. En esta época, Llallagua se constituye en un centro de gran comercio.

La COMIBOL ha realizado una completa modificación de las condiciones de trabajo anteriores con una nueva estructura administrativa laboral. El 29 de agosto de 1985 Paz Estensoro promulgó el decreto 21060 que cambió la política económica instaurada en 1952. Se pretendía conseguir la estabilización monetaria para lo que se realizó la denominada relocalización, que fue el despido masivo de trabajadores. Llallagua tuvo que afrontar la despoblación a consecuencia de ese decreto, el mismo que fue concretado con mayor fuerza en el mes de octubre del mismo año con el anuncio de la caída del precio del estaño en el mercado internacional, y el despido masivo de miles de mineros de sus fuentes de trabajo y la migración de éstos y sus familias a otros centros poblacionales y ciudades, con la esperanza de encontrar una nueva vida donde a muchos de ellos no les fue bien y retornaron al distrito.

Actualmente Llallagua y sus alrededores aportan importantes ingresos a la economía nacional con el trabajo y producción estannífera de las cooperativas mineras. Con esto se reanudó nuevamente el movimiento poblacional, ahora se puede observar las ferias comerciales que nuevamente resurgieron a consecuencia de las diferentes cooperativas como son la Cooperativa Siglo XX, Cooperativa 20 de octubre, Cooperativa Dolores, Cooperativa el Carmen, Cooperativa Multiactiva, éste último conformado con los relocalizados de 1992.

ELEMENTOS PATRIMONIALES

Las instalaciones mineras en sí mismas constituyen un importante patrimonio, entre ellas destaca la Mina Salvadora (Figura 5). En esta mina se halla un importante elemento perteneciente al patrimonio intangible, como es la figura del Tío de la Mina o

Diablo, quién según la leyenda habita los profundos socavones en la región Andina de Bolivia y todos los días los mineros le rinden tributo con coca, alcohol y cigarrillos pidiéndole una buena jornada de trabajo (Loredó y Zambrana, 2014). Además se puede citar el socavón de la Mina Siglo XX, los Arenales de Catavi, las Granzas y cerros de Cascajo, el Tranque (represa) de Lupi Lupi, las Pampas María Barzola (sitio histórico donde se firmó la Nacionalización de las Minas) y el Cerro Llallagua.



Figura 5. Izquierda, entrada a la mina siglo XX, derecha una imagen del Tio ubicada en el interior de la mina.

Además de las construcciones mineras y los minerales presentes en la localidad otros elementos patrimoniales de la zona son diversas edificaciones que muestran la historia por la que ha pasado Llallagua. Por un lado tenemos la casa donde vivió Patiño, que hoy día se puede visitar (Fig. 6a). También se encuentra todavía de la Estación de FFCC en Uncia construido por Patiño, vía para transportar el mineral hasta Antofagasta-Chile (Figura 6b). Los teatros son otro recuerdo de la importancia económica que llegó a tener este lugar, fueron construidos por Patiño en sus años de esplendor (Fig. 6c y d).

Otras construcciones de interés turístico son los Balnearios de Catavi, el Museo Arqueológico y Paleontológico, Museo Rincón del Tinku, Capilla del Señor Justo Juez, Antigua Gerencia Técnica de Patiño Mines and Interprices, Campo María Barzola, Andavilque, Campamentos mineros en Siglo XX, Plaza del Minero, Teatro 31 de octubre, Radio la Voz del Minero y el Museo Fotográfico UNSXX.

En la propia ciudad de Llallagua son numerosos los monumentos construidos en honor del minero y que hacen que la ciudad en si misma constituya parte del patrimonio minero de Bolivia. Como ejemplo de algunos de estos monumentos se presenta la Figura 7.

Otros elementos del patrimonio intangible de Llallagua son la festividad de la Virgen de Asunción, el 15 de agosto, la festividad de San Lorenzo, el 10 de agosto y la festividad de la Virgen de Guadalupe, el 12 de diciembre. En Uncia se encuentran la festividad de San Miguel Arcángel y festividad de Cala-Cala.



Figura 6. Construcciones que representan elementos patrimoniales de la zona de Llallagua: a) Casa de Simón I. Patiño en Miraflores-Uncía, b) Lo que quedó de la Estación de FFCC en Uncía para transportar el mineral, c) Teatro de Simón I. Patiño en Catavi, d), Teatro 31 de Octubre en Siglo XX, también construido por Patiño.



Figura 7. Algunos de los monumentos al minero erigidos en la ciudad de Llaallagua.

REFERENCIAS

- Ahlfeld F., Schneider-Scherbina A. (1964). Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia. Bol. Dept. Nac. Geol. 5, 1–388.
- Baur, W.H. (1969). The crystal structure of paravauxite, $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 430-433.
- Baur, W.H., Rao, B.R. (1967). The crystal structure of metavauxite. Naturwissenschaften 54, 561-561.
- Betkowski, W. B., Rakovan, J., Harlov, D. E. (2017). Geochemical and textural characterization of phosphate accessory phases in the vein assemblage and metasomatically altered Llaallagua tin porphyry. Mineralogy and Petrology 111(4), 547-568.
- Betterton, J., Green, D. I., Jewson, C., Spratt, J., Tandy, P. (1998). The composition and structure of jeanbandyite and natanite. Mineralogical Magazine 62(5), 707-712.
- Cook, R.B., Pohwat, P. (2003). Llaallagua, Bolivia: Mineral associations and habits exhibited by micromounts in the collection of the national museum of natural history (Smithsonian Institution). Mineralogical Record 34, 115.
- ITRI (2016). 2016 Report on Global Tin Resources & Reserves. Disponible en <https://www.internationaltin.org/wp-content/uploads/2018/01/ITRI-2016-Report-on-Global-Tin-Resources-and-Reserves.pdf>. Consultado el 25-10-2018.
- Hurlbut Jr, C. S., Honea, R. (1962). Sigloite, a new mineral from Llaallagua, Bolivia. American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials 47(1-2), 1-8.

- Hyrs J, Petrov A (2006) Famous mineral localities: Llallagua, Bolivia. *Mineralogical Record* 37, 17–163.
- Kempe, U., Lehmann, B., Wolf, D., Rodionov, N., Bombach, K., Schwengfelder, U., Dietrich, A. (2008). U–Pb SHRIMP geochronology of Th-poor, hydrothermal monazite: an example from the Llallagua tin-porphyry deposit, Bolivia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72(17), 4352-4366.
- Loredo, V., Zambrana, N. (2010). Patrimonio geológico, minero e histórico de Siglo XX-Catavi y su integración en una ruta turística. Libro de Actas del 1er Congreso de Patrimonio Geológico y Minero de Bolivia y Los Andes, Potosí.
- Mlynarczyk, M., Williams-Jones, A.E. (2005). The role of collisional tectonics in the metallogeny of the central Andean tin belt. *Earth Planet Sc Lett* 240, 656–667.
- Raade, G., Grice, J. D., Rowe, R. (2016). Ferrivauxite, a new phosphate mineral from Llallagua, Bolivia. *Mineralogical Magazine* 80(2), 311-324.
- Oporto Ordóñez, L. (2017). Llallagua: la ciudad del estaño. *Fuentes* 11, 53, 94-100.
- Querejazu, R. (1978). Llallagua: historia de una montaña. La Paz: Los Amigos del Libro.
- Rakovan, J. (2003). Exceptional apatites from the Siglo XX mine, Llallagua, Bolivia. *Mineralogical Record* 34, 117-118.
- Romero, F. M., Canet, C., Alfonso, P., Zambrana, R. N., Soto, N. (2014). The role of cassiterite controlling arsenic mobility in an abandoned stanniferous tailings impoundment at Llallagua, Bolivia. *Science of the Total Environment* 481, 100-107.
- Sillitoe, R. H., Halls, C., Grant, J. N. (1975). Porphyry tin deposits in Bolivia. *Economic Geology* 70(5), 913-927.
- USGS 2018. Mineral Commodity summaries 2018. US Department of the Interior and U.S. Geological Survey.
- Ventrucci, G., Schingaro, E., Monno, A., Lacalamita, M., Della Ventura, G., Bellatreccia, F., Cuocci, C., Rossi, M., Capitelli, F. (2016). Structure refinement and vibrational spectroscopy of vauxite from the type locality, Llallagua (Bolivia). *Canadian Mineralogist* 54, 163-176.